低压电力线载波自动抄表系统产业化探索

张春晖[1]　张震[2]

（1. 国 网 山 东 省 电 力 公 司 ， 山东 济南 250001; 2. 华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100）

摘要：我们主要讨论了低压电力线载波自动抄动系统（低压 PLC AMR）的需求突起和应用现状。首先，我们分析了推动低压 PLC AMR 市场需求增长的因素，包括电力管理的需求、面对风险的有策略和工程资金的有保障。电力管理需求方面，自动抄表系统是现代化、标准化、精细化管理的重要环节，而低压 PLC AMR 是解决低压电网自动抄表难题的有效方案。面对风险方面，供应商已经具备关键技术研究基础和故障处理能力，制定了相关标准，并且有短距离、无线式、自组网自动抄表系统作为技术补充。工程资金方面，电网建设和技术改造资金充足，低压 PLC AMR 的资金需求相对较小。在应用现状方面，全国载波电能表估计有 900 万台，占低压电网本地自动抄表系统终端的 85%。其中，低压 PLC AMR 的应用已经取得了一些重要成就。一些公司自主开发了载波通信芯片和系统解决方案，提高了技术性能和一次抄表成功率。同时，还根据不同地区的需求提供了多种系统解决方案。此外，一些公司还开发了智能网络控制（SOC）载波通信芯片，采用 BPSK 调制和 OSI 七层协议模式，具有自动路由算法和专用网络管理功能。然而，低压 PLC AMR 仍存在一些问题，如一次抄表成功率不稳定、系统建设成本较高等。此外，系统建设和运行过程中还需要解决一些技术问题，如载波通信干扰、通信协议标准化等。因此，需要进一步推进低压 PLC AMR 的产业化发展，加强技术研发和标准化工作，提高系统性能和稳定性，降低建设和运行成本。总之，低压 PLC AMR 在电力管理、技术、风险应对和资金保障方面具有优势，市场需求逐渐突起。随着技术的不断改进和应用经验的积累，低压 PLC AMR 的应用前景将更加广阔。

关键词：低压电力线载波　自动抄表

中图分类号：TM933.4

Exploration of industrialization of low-voltage power line carrier automatic meter reading system

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1.State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250001 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract:We mainly discussed the demand protrusion and application status of low-voltage power line carrier automatic copying system (low-voltage PLC AMR). First, we analyze the factors driving the growth of the market demand for low-voltage PLC AMRs, including the need for power management, strategies for facing risks, and secure engineering funds. In terms of power management needs, the automatic meter reading system is an important part of modern, standardized and refined management, and the low-voltage PLC AMR is an effective solution to solve the problem of automatic meter reading in the low-voltage power grid. In the face of risks, the supplier already has the key technology research foundation and fault handling capabilities, formulated relevant

standards, and has a short-range, wireless, ad hoc network automatic meter reading system as a technical supplement. In terms of project funds, the funds for power grid construction and technical transformation are sufficient, and the capital demand for low-voltage PLC AMR is relatively small. In terms of application status, there are estimated 9 million carrier energy meters in the country, accounting for 85% of the terminals of the local automatic meter reading system of the low-voltage power grid. Among them, some important achievements have been made in the application of low-voltage PLC AMR. Some companies have independently developed carrier communication chips and system solutions, which have improved technical performance and the success rate of one-time meter reading. At the same time, a variety of system solutions are also provided according to the needs of different regions. In addition, some companies have developed intelligent network control (SOC) carrier communication chips that use BPSK modulation and OSI Layer 7 protocol mode, with automatic routing algorithms and private network management functions. However, there are still some problems in low-voltage PLC AMR, such as the unstable success rate of one-time meter reading and the high cost of system construction. In addition, some technical problems need to be solved in the process of system construction and operation, such as carrier communication interference, communication protocol standardization, etc. Therefore, it is necessary to further promote the industrialization of low-voltage PLC AMR, strengthen technology research and development and standardization, improve system performance and stability, and reduce construction and operation costs. In short, low-voltage PLC AMR has advantages in power management, technology, risk response and financial security, and the market demand is gradually emerging. With the continuous improvement of technology and the accumulation of application experience, the application prospect of low-voltage PLC AMR will be broader

Key words:Low-voltage power line carriers　Automatic meter reading

0　引言

进入 2007 年，电能表产业呈现出市场、技术两兴旺的繁忙景象，主要热点产品有：自动抄表及终端，三相电能表，基于创新型电能计量方式的无触点电能表、高压传感器式电能表等三类。其中，低压电力线载波自动抄动系统（以下简称低压 PLC AMR）的需求突起，北有黑龙江，南有广东，还有陕西、广西、河北、天津等省区内相继启动新一轮低压 PLC AMR 建设，估计 2007 年投资 7 亿元，载波电能表需求 240 万台。

国内，低压 PLC AMR 曾经历十几年曲折发展过程，是有争议、有风险、又具有发展前景的海量电能表工程。面对新一轮大潮，作为电能表产业要从长计议，在这场激烈市场竞争中，多数大型电表企业技术上处于被动地位，系统关键技术尚有缺失，要抓紧商机，推进低压 PLC AMR 产业化发展。

由此考虑，经汇总、研究近几年有关载波频率为 3-500KHz 低压 PLC AMR 的国内期刊载文和多方面的信息，本文将叙述新一轮系统需求突起的因素，应用现状、存在问题，国际上的经验，讨论如何进行系统产业化探索。

一、低压 PLC AMR 的需求为什么突起？

近几年，对低压 PLC AMR 的建设与应用看法不一，那么，推进低压 PLC AMR 市场突起的因素有哪些呢？经过观察与分析认为：

1、电力管理有需求

1）改进电力营销管理创一流建设的薄弱环节

近几年，电网发展很快，现代化、标准化、精细化管理全面铺开。自动抄表网络作为电力营销管理现代化的一个环节，引起高度关注。发电厂的上网电量，早已由电网的电能量计量计费系统实现远程自动抄表；大用户，陆续建起远程无线式自动抄表系统；唯有低压电网的自动抄表是个难题，占电网电能表总量 90%的居民电能表和公用配电变压器供电区内的三相电能表，主要还是依靠人工抄表。尽管有些供电公司都在进行低压 PLC AMR 的试点，还没有看到完整的、大规模居民用电自动抄表系统建成的报道。

2）强化电网线损率指标管理的急需

2005 年电网线损率为 7.18%，一年损失电量 1549 亿千瓦时，相当于一个用电大省的年用电量。

传统的线损率是月度平均线损，人工抄表使指标起伏难以说清楚。最近，黑龙江电力建成省网线损综合日管理系统，实现电量日统计，母线日平衡，损失日分析，降低线损效果明显。该省的绥化地区电力提出：将 15 分钟采集到的大量数据进行整合。可以说，人工抄表方式，即使目前的低压 PLC AMR，居民用电

自动抄表周期也难以达到15分钟的要求。

3）化解人工抄表引起抄表人员紧张状况

自1999年实施一户一表工程以来，国网和南网供电区内直管用户由原来的约2000万户，增加2006年的16700万户。按现有人工抄表平均每月抄表1万户计算，需要增加8倍抄表人员，实际情况是电力部门实施人员精减的新政。

4）未来电力营销管理扩大增值服务功能。国内对Enel公司较为了解，它是意大利最大的电力公司。2006年建成全球最大的自动仪表管理系统，通过嵌入系统的增值服务功能，迎接市场自由化挑战，计划成为欧洲最有效力的电力公司。

2、面对风险有策略

1）经过多年的探索，黑龙江、广东两省区内都有超过10万户规模的低压PLC AMR管理和运行经验。

2）低压PLC AMR解决方案的供应商已经具有低压PLC AMR关键技术研究基础和多年故障处理的能力。

3）黑龙江电力已经制定出《电能信息采集与管理系统》系列标准，由来自全国电工仪器仪表标委会、电力部门、电表企业的40多位专家参与制定，总结经验，汇总信息，集思广义。

4）近期，短距离、无线式、自组网自动抄表系统在新疆地区内取得初步试用成果，一次抄表成功率99.5%，可以作为低压PLC AMR盲区的技术补充。

3、工程资金有保障

近几年，电网不断改善经营管理，企业利润增长。2007年，两网用于电网建设和技术改造资金估计超过3000亿元。今年新一轮低压PLC AMR资金需求，仅占电网发展总投入的0.23%。

归结起来，有需求、有策略、有资金是推进低压PLC AMR需求突起的因素。

二、低压PLC AMR应用情况

目前，全国载波电能表估计有900万台，占低压电网本地自动抄表系统终端的85%。

1、近几年的主要成就

1）自主开发载波通信芯片和系统解决方案，技术性能不断改进，一次抄表成功率最高达到90%。

●青岛某公司载波通信芯片：采用基带扩频技术，BFSK调制，嵌入模糊识别、模糊控制和现代数字信号处理技术，高效率向前纠错技术，可编程网络地址，支持帧中继转发，中继深度最大7级，DLL协议是基于HDLC规范，码速率20.8kbps。

自主开发集中器和路由、中继算法，按照省电力的不同要求，提供多种系统解决方案。

●深圳某公司开发的智能网络控制（SOC）载波通信芯片：采用BPSK调制；按EIA709.1、EIA709.2电力线收发模块协议标准设计；采用OSI七层协议模式；自主设计自动路由算法和专用网络管理命令，完成整个自动抄表系统的自组网、自适应网络管理任务；物理层可以提供定量的接收信号信噪比，能在很高的脉冲干扰以及接收信号强度为1毫伏情况下，仍能保持自动通信，数据速率为5.5kbps。

集中器方面：中央主站系统与集中器之间采用GPRS、CDMA、PSTN、宽带网络等物理信道通信；逻辑层采用TCP/IP通信协议；集中器与电能之间采用EIA709.1协议；最大抄表容量1000台。

2）网络路由、中继算法研究取得一定成果

近几年，国内期刊的下列载文报道了这方面的信息，有些算法已经应用到载波通信芯片设计。

●《低压PLC网络结构分析》

●《基于EIA7091协议的低压PLC AMR自动路由技术》

●《SOC方式载波电能表的研制与特点》

●《拓朴中继技术在AMR中的应用》

3）低压PLC信道特征和仿真平台设计方面的研究成果

据国内期刊载文，主要有：

●《电力线信道分析与模型》

●《低压PLC信道仿真平台的设计》

●《低压PLC中的抗干扰问题》

●《低压 PLC 信道特性研究与新型调制解调算法探讨》

4）引用 Lon Works 分布式网络的低压 PLC AMR

该系统由温州某公司开发，已经进入规模试用阶段。

● 系统采用自组网、两频段的自动跳频技术，完善的网络侦听手段，选择合适时间、频段进行通信。

● 一个电力线节点，包括：电力线载波调制解调芯片、神经元芯片、耦合电路和电源。

● 采用 Lon Talk 开放式协议，具有中继功能、数据速率 2.5kbps。

5）跨配电变压器台区的数据通信：

由南京某大学研究的采用路由器技术，使两个独立的配电变压器之间信号互通，实现跨配电变压器的自动抄表。

6）《电能信息采集与管理系统低压 PLC 协议集》已由黑龙江电力制定完成。

同时，中国标准化管理局（SAC）正式将美国控制网络标准 ASNI/CEA709 及 ASNI/CEA852 采纳为 GB/Z 20177-2006，使 Lon Works 技术成为中国国家标准化指导性技术文件，将推进低压 PLC AMR 的产业化发展。

2、目前存在主要问题：

现在，低压 PLC AMR 的实时性不高，一次抄表成功率不高，要放宽到 24 小时内才能实现 100%用户抄表，已经影响到 PLC AMR 更大规模的应用。

1）电网方面的问题是多方位的

●对低压电网拓朴结构缺乏深入具体的研究，暂时还提不出分省、地区（市）、县的低压电网拓朴结构图和数学模型。

●对干扰信号的监督没有章法

・干扰信号过大，经北京某公司的测试，最大干扰达 120db 微伏。

・家用电器进入千家万户，高频、低频干扰和谐波电流污染严重。

●对载波信号的衰减过大

・ 以 315 千伏安的配电变压器为例，满载时每相负载阻抗只有 0.46 欧姆，配电网还接有相当数量的功率因数补偿电容器。

・配电线路 T 型接线方式的接头也是个问题，接触不良引起载波信号很大的衰减。

●低压电网载波信号和干扰信号测试方面，大面积供电范围的抽样测试还没有开展过，也没有组建从事测试业务的机构。

2）系统技术有难点，通信协议研究滞后

●通信网络冲突检测：

国内期刊载文指出：由于通信距离有限，同一相电力线上只能靠中继来进行远距离抄表，这种抄表总线分裂会造成冲突检测的误判。鉴于低压 PLC 网络的复杂性和时变性，简单使用 CSMA 多点接入协议还是不够，应使用一些特殊的多点接入协议，例如，MACA、MACAW 等协议，或较为简单的 ALOHA 协议等的变形。

通信网络冲突检测属于通信协议数据链路层的介质访问控制子层。目前，国内自动抄表通信协议还没有相应的研究和规定。

●网络路由、中继算法研究的深度不适应实际需求

目前，低压 PLC AMR 采用路由、中继算法之后，一次抄表成功率平均为 80-85%，最高达 90%。

国内期刊载文指出：EIA709.1 协议网络层，提供多种网络寻址方法，能处理一个区域内的包传递，包括：单播、多播、广播，提供目的寻址、地址解析、包路由选择等网络服务，完成自动转发功能。

国内的自动抄表通信协议，目前大多采用物理层、数据链路层、应用层三层协议。

需要指出：现在，网络路由、中继算法研究人才不足。由于具有知识产权保护问题，国际、国内的技术书刊难以查询相应算法资料。

●重复包检测功能

国内期刊载文指出，EIA709.1 协议的传输层，包含事务控制子层，提供重复包检测功能，可以使目

标接点能最快的处理数据包，重复包丢弃。

国内的自动抄表协议没有 OSI 七层协议模式中的传输层协议规定。

●IEC62056 和 DL/T645 协议

据了解，新一轮系统有的集中器上行协议采用 IEC62056，下行协议采用 DL/T645。

·IEC62056：据网上报道，黑龙江电力的“电能信息采集与管理系统采用 IEC62056 国际标准体系，设计思想先进、体系完整、目标清晰，具有标准性、开放性、先进性，填被了这一领域的国内空白”。

国内对 IEC62056 标准系列的研究，大概有 5 年的时间，翻译与试套应用取得初步成绩。目前主要是抓紧 IEC62056 标准转化成国标，尽快出版宣贯，再是进口 DLMS 协会提供的整套测试软件，来验证国内翻译和试套应用的准确性，争取集中器上行协议取得 DLMS 协会的认可。

·DL/T645：近期，DL/T645 的修订稿已经通过电力行业电测量标委会的审定。修订稿对多功能表数据标识码作了较大的扩充，由原来的两个字节四个字段扩充四个字节八个字段。数据标识码的内容增加了数据冻结、负荷曲线、铜损和铁损算法定义等，基本满足现在和适当超前的发展需要。

这次集中器下行协议设计中，要关注 DL/T645 内容的修改、增加，留出软件扩充空间。

3）系统设计的争议

●通信方式选择：国内的低压 PLC AMR 采用点对点、点对多点、分布网络多种通信方式，网络控制技术是否成为载波通信芯片的设计趋向？

●窄带与宽带通信：窄带干扰多，宽带有优势；低压 PLC 的品质因数，因带宽而降低，强干扰与频带相近时，经常出现中断。

●抄表时间与中继路径学习的矛盾：在有限时间内要准确寻找中继路径，需采用自适应路径或神经元中继技术。

●通信性能与成本的关系：载波信号接入灵敏度受成本限制。一些进口载波通信芯片集成 DSP 和高位 A/D，具有较高的接收灵敏度。

●集中器与载波电能表的硬件选择：由于两者功能不同，性能差别大，需要进行硬件优化设计，目前缺乏这方面的设计规范。

●系统技术的缺失

低压 PLC AMR 技术除以上叙述的电网方面问题、通信协议滞后、系统设计争议，还有技术上的缺失，包括系统设计标准和测试方法，载波通信模拟网络，载波通信芯片和集中器、载波电能表设计规范，系统工程设计和管理导则等，这些都是未来进行系统产业化的重要方面。

三、Enel 的自动仪表管理解决方案

Enel 的自动仪表管理解决方案，其中的本地抄表采有低压 PLC AMR。

1、系统规模：接入 3000 万个用户，采用 36 万台集中器，总投资 20 亿欧元，有五个电表集成厂，50 个电表部件供应商。

2、系统部件的特点：

1）远程控制载波电能表：准确度 2 级，寿命大于 15 年，内置断路器，配有自诊断系统，失效率小于 0.3%。产品向全球公开招标。

2）集中器：集中器与电表采用低压 PLC，主载波频率 82KHz，第二载波频率 75 KHz，FSK 调制，数据速率 2400bps。

3）调制解调器：采用 TCP/IP 协议，通过公用通信网络（GSM、ISDN 等）将集中器收集到的数据传送到中央主站系统。

3、系统应用情况

该系统在传统的 AMR 上，添加新的远程用户管理和潜在的增值服务功能。2006 年，Enel 通过自动仪表管理系统实现：

1）远程抄表 1.6 亿台电能表，平均每月抄表 1300 万台。

2）远程实现 600 万次技术和商业操作。

3）实施 6 个按小时计算新的电价方案，150 万个用户选择新的电价标准，减少高峰用电量和电费支出。

4）对欠费用户实施 200 万次远程操作，减少 90%供电量，只供应必要的用电，例如：电灯、一台电冰箱。

5）上载用户以 15 分钟为周期的负荷曲线。按意大利法律规定，用户帐单需以负荷曲线为依据。到 2007 年底，Enel 将对用户进行整合，根据其消费习惯推出具体的电价标准。

6）作弊检测和电能平衡：在配电变压器上安装总电能表，监控总用电量。

4、关注 Enel 系统的走向

1）Enel 的战略，就是将知识产权“产业化”。Enel 与 IBM 公司合作向全球的公用事业单位推出自动仪表管理系统。

2）Enel 的现场测试经验，可以向全球提供独有的测试能力，以评估新的发展需求，监控产品质量。在系统工程启动之初，由 Enel 的测试子公司进行低压电网现场测试，再现电网存在噪音典型环境。测试中，将 1000 台电能表与 3000 多个在住宅和小型企业日常运转的电器设备相连。目前，还测试家用电器新产品和新型号的电能表、集中器，用来检查系统通信的可靠性。

3）Enel 重视系统带来的成本降低成果：每年，Enel 将节约 4 亿欧元。

4）Enel 已经开始着手开发计量服务网络，以后为用户提供新的增值服务。

5）需要指出，Enel 的低压 PLC AMR，采用 Lon Works 控制网络标准是系统的核心技术。鉴于中国低压电网的复杂性和时变性，Lon Works 技术的应用还是起步阶段，经验不足，需要关注和考核实际应用情况。

6）Enel 的系统与中国：Enel 从系统工程启动时，就很重视中国巨大的、潜在的电力市场

●2001 年 5 月，Enel 公司与中国原国家电力公司进行会谈，介绍 Enel 的自动仪表管理系统，讨论如何进入中国电力市场。

●2003 年 5 月，Lon Works 技术的发明者和技术平台提供商美国埃斯朗公司，在上海国际计量会展上介绍了 Enel 公司自动仪表管理系统工程进展情况。

●大概 2002、2005 年，深圳某公司为 Enel 生产统一设计的载波电能表约 700 万台。

●2004 年，国内期刊载文：《进展中的意大利 Enel Telege Store 工程》。

●2005 年，国内期刊载文：《全球最大的 AMM 工程》。

●2007 年，上海国际计量会展提供资料：《Enel 面向未来：自动仪表管理解决方案》。

四、低压 PLC AMR 的产业化探索

1、产业化前景

1）2006 年，中国城镇居民达到 16400 万户，现有本地自动抄表占 6.45%，低压 PLC AMR 的潜在市场可观。

2）2007年，新一轮低压PLC AMR的建设受到广泛关注。如扩大试用情况较好，今后几年，每年电网投资估计达15亿元，需要载波电能表500万台。黑龙江电力决定“十一五”期间投入资金，利用三年时间完成全省统一的电能信息采集和管理系统建设。

2、产业化要求

低压PLC AMR要实现产业化的基本条件：

1）具有规模应用需求，市场前景看好。

2）具有完整的系统产品系列标准，系统产品达到互换、互联、互通。

3）自主开发系统核心技术。

4）生产自动化水平较高，产品一致性较好。

5）建立产品质量保证体系，年故障率较低。

6）产品售后服务水准较高。

7）产品开发的人力资源，适应产业化发展要求。

3、产业化内容

1）产业化的第一步目标，建议：

●近三年内，每年生产载波电能表约500万台。

●一次抄表成功率平均提高到85-90%，最高达到95%。

●以抄表容量为1000户的居民用电区为例，40分钟轮抄一遍。

●载波电能表年故障率小于0.3%。

●集中器工作可靠性：（略）

2）电网及其测试技术研究

●典型拓朴结构图

·公共配电变压器供电区内的三相电能表表位拓朴结构图。

·居民用电区内的电能表表位拓朴结构图。

●电力线路参数

·低压电缆分布、长度、使用年限。

·架空线路分布、长度、使用年限。

·低压补偿电容器。

●用户用电信息

·电能表接入系统图

·家用电器和照明灯类型、功率、电源结构、使用年限。

·用户典型用电量曲线

●低压电网测试

·低压线路电压曲线、每相电压降落、等效阻抗

·配电变压器三相功率不平衡度、24 小时负荷同时系数、高峰电力负荷、高频、低频干扰信号的幅值、流向。

·电压、电流谐波含量

·载波信号衰减情况

3）低压 PLC AMR 标准系列

●产品技术条件类：

·系统、主站技术要求和测试方法

·集中器技术要求和测试方法

·载波电能表技术要求和测试方法

·载波通信芯片技术要求和测试方法

●通信协议类：

・集中器上行协议及测试方法

・集中器下行协议及测试方法

・集中器内部软件系统测试方法

・载波电能表内部软件系统测试方法

●设计规范类：

・集中器硬件、软件设计规范

・载波电能表硬件、软件设计规范

・系统工程设计、验收规范

●品质测试类

・载波通信模拟网络技术条件和测试方法

・集中器品质测试方法

・载波电能表品质测试方法

4）关键技术研究

●载波信号冲突检测算法与相关通信协议

●拓朴结构路由、中继算法与相关通信协议

●采用载波通信技术新成果的通信芯片设计

●低压电网参数、信息测试方法及测试仪器研究

●系统主站测试方法及测试仪器研究

5）载波通信模拟网络

●模拟网络测试对象

・拓朴结构改变

·通信范围测试、抄表总线分裂影响

·通信速率影响

·载波信号接收灵敏度与干扰测试

·信号衰减情况

·通信方向不可逆程度

·信号跨相影响

·中继深度测试

●模拟网络容量，分三个等级：

·1200 台电能表，6000 台家用电器及办公自动化设备。

·800 台电能表，4000 台家用电器及办公自动化设备。

·400 台电能表，2000 台家用电器及办公自动化设备。

●户外模拟网络结构

·模拟网络两端要与低压电网隔离，净化测试环境

·模拟网络由架空线路、低压电缆、电能表、家用电器及办公自动化设备构成。

·模拟信号：载波频带 3-500KHz，干扰信号最大为 120db 微伏。

●采用居民用电区电网作为模拟网络：选用的居民用电区要有一定规模，低压电网拓朴结构具有典型意义。

5）产业化规划：（略）

4、组建 PLC AMR 技术合作组织

该合作组织的宗旨，是联合与发挥现有载波通信芯片和系统解决方案供应商和高等院校的技术先导作用，国内大型电表企业的资金和人力资源，电力部门的电网资源优势和 AMR 运行经验，争取把低压 PLC AMR 产业做大、做深，走向国际化。其主要任务：

1）组织制定 PLC AMR 行业标准系列

2）组织调查低压 PLC AMR 的市场需求，测试典型低压电网参数和信息。

3）抓紧做好关键技术和重点项目开发，包括载波频率 10MHz 及以上的高速 PLC 技术研究。

4）组织载波电能表品质测试，制定新产品技术条件，开发新产品。

5）组织重点城市的大型居民用电区进行低压 PLC AMR 新产品试点，为产品设计改进提供依据。

6）组织低压 PLC AMR 技术、运行情况交流与产业化规划制定。

结语

最后需要指出：国际上，低压电网的高速 PLC 技术商业化是一个热点项目。国内的高速 PLC 技术的研究已经多年，正在进入电网试用。由于本文篇幅有限，这方面的内容不再叙述。

参考文献

[1] 张春晖 张震 低压电力线载波自动抄表系统产业化探索 2007 年 10 月 14 日

作者简介： 张春晖 男， (1938-)， 从事电能计量技术研究。
通讯作者： 张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com